

Previsão da vida útil de pinturas de paredes exteriores

Cristina Chai¹, Jorge de Brito^{2, †} e Ana Silva³

Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Construção, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

Pedro L. Gaspar⁴

Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, R. Sá Nogueira, 1300-055 Lisboa, Portugal

RESUMO

O presente artigo aborda a previsão de vida útil de superfícies pintadas, uma das soluções de revestimento mais correntes em Portugal, particularmente susceptível à degradação, o que afecta a qualidade do espaço público e a imagem das cidades. Esta investigação é baseada no levantamento do estado de deterioração de 220 fachadas em serviço, na região de Lisboa, procedendo-se à quantificação da degradação global das fachadas, integrada em modelos matemáticos que expressam a deterioração dos elementos considerados ao longo do tempo, em função de diferentes factores de degradação analisados. Os modelos obtidos permitem assim a identificação de um padrão de degradação de pinturas e de uma vida útil de referência. A existência deste tipo de ferramentas constitui um vector essencial na área da manutenção do património edificado.

1. INTRODUÇÃO

O parque edificado em Portugal, apesar de relativamente recente comparativamente com o de outros países europeus, apresenta sinais evidentes de degradação (Lanzinha et al., 2006). A presente situação deve-se ao processo de envelhecimento dos materiais e componentes, que se inicia logo após a conclusão da obra, associado a uma incipiente cultura de manutenção do edificado, que se traduz numa perda de desempenho das construções. Esta perda de desempenho, que se manifesta em níveis cada vez mais elevados ao longo do tempo, traduz-se na incapacidade dos edifícios acolherem os usos para os quais foram projectados ou na existência de problemas, avarias ou falhas (Gaspar, 2009), manifestados pelo aparecimento de anomalias. Investigações realizadas em Inglaterra pelo Building Research Establishment (BRE) permitiram concluir que as fachadas são os elementos mais afectados por manifestações patológicas, representando 20% do total das anomalias detectadas (Watt, 1999).

No presente estudo, aborda-se a previsão da vida útil de pinturas de superfícies exteriores, com base na avaliação do estado de degradação de 220 fachadas analisadas na área de

¹ Mestre em Engenharia Civil (IST)

² Professor Catedrático (IST), †Autor para correspondência (jb@civil.ist.utl.pt)

³ Mestre em Engenharia Civil (IST)

⁴ Professor Auxiliar (FA)

Lisboa, Portugal. É ainda explorada a influência das diferentes características das superfícies pintadas e da sua envolvente na durabilidade das mesmas.

2. ENQUADRAMENTO

De acordo com Lacasse e Sjöström (2004), os principais métodos existentes para a previsão da vida útil podem ser divididos em modelos determinísticos, estocásticos e de engenharia. Os modelos estocásticos assentam na premissa de que a deterioração é um processo regido por variáveis aleatórias, que por sua vez definem parâmetros probabilísticos que afectam uma curva média de degradação (Moser, 2003), de tal modo que o conhecimento da deterioração num dado instante não determina qual será o seu estado no instante seguinte. Para tal, estes métodos requerem uma extensa recolha de dados de modo a permitir amostras suficientemente representativas, o que nem sempre é possível por razões de tempo e de custo. Os modelos determinísticos consistem em algoritmos que modelam a degradação ao longo do tempo, dependentes de uma ou mais características do elemento analisado, fornecendo geralmente um valor absoluto para a vida útil estimada daquele. Estes métodos são geralmente de rápida e fácil utilização apesar de, por vezes, serem apontados como excessivamente simplistas em relação à complexidade inerente aos processos de deterioração dos materiais e componentes da construção. Por sua vez, os métodos de engenharia constituem um nível intermédio entre os modelos determinísticos e probabilísticos. Estes métodos, partindo de metodologias mais simples (por exemplo, de natureza determinística), permitem integrar um pouco da variabilidade associada à incerteza do mundo real, sem se tornarem excessivamente complexos.

Um dos principais objectivos do presente estudo é o desenvolvimento de uma metodologia determinística de previsão da vida útil das superfícies exteriores pintadas. O modelo proposto baseia-se no estudo dos factores de degradação que afectam os elementos analisados, na compreensão dos seus mecanismos de actuação e, por fim, na sua quantificação traduzida em funções de degradação. Estes factores são depois traduzidos em algoritmos que expressam a sua acção ao longo do tempo, até que seja atingido o valor mínimo aceitável de desempenho do elemento estudado.

Dentro dos modelos determinísticos adoptou-se o designado “método gráfico” (Shohet e Paciuk, 2004), baseado na definição de curvas de degradação que pretendem modelar o desempenho dos materiais e componentes ao longo do tempo. Estas curvas podem ser obtidas através do ajuste a gráficos de degradação que representam, tipicamente, o tempo decorrido desde a entrada em serviço no eixo das abcissas e uma escala de medida da degradação ou de perda de desempenho no eixo das ordenadas. As curvas de degradação escolhidas para a modelação do desempenho diferido dependem essencialmente da natureza dos fenómenos de degradação modelados, devendo estas apresentar um ajuste adequado ao andamento geral dos pontos do gráfico de degradação.

3. FENÓMENOS DE DEGRADAÇÃO DAS SUPERFÍCIES PINTADAS E SUA HIERARQUIZAÇÃO

Os revestimentos de paredes, pela sua grande exposição às acções externas e pelo seu papel de protecção das alvenarias, são dos elementos mais sujeitos à degradação. As pinturas continuam a desempenhar um papel importante como revestimento exterior, a nível nacional e internacional, sendo de acordo com o INE (2001) o tipo de revestimento mais utilizado em Portugal. A amostra estudada localiza-se em Lisboa, em áreas residenciais num ambiente urbano com influência marítima moderada e orientações variáveis.

Os processos de degradação, natural e precoce, a que estão sujeitas as superfícies pintadas

traduzem-se no aparecimento de diversas anomalias que, devidamente identificadas e tipificadas, permitem quantificar a sua degradação global. Em função das condições de projecto, aplicação, condições de secagem, das condições ambientais e de exposição, surgem diferentes anomalias e inicia-se um processo de degradação irreversível que conduzirá não só à perda de qualidade visual das superfícies pintadas, mas que também poderá comprometer a função protectora destas.

Pretende-se assim classificar e definir níveis de degradação para cada anomalia, de acordo com uma escala física e visual dos revestimentos, com vista à sua utilização em modelos de levantamento baseados na definição de patamares de degradação. Interessa que a escala numérica adoptada seja facilmente perceptível, optando-se, por vezes, por apresentar - conjuntamente com as escalas físicas - padrões visuais de referência ou escalas visuais. No presente estudo, a definição de níveis adoptada é realizada mediante a intensidade e o tipo de anomalia, independentemente da extensão da manifestação patológica, que é um parâmetro tido em conta, posteriormente, na definição do nível global de degradação do revestimento. A escala de degradação definida baseia-se nas normas vigentes (NP EN ISO 4628-1:2005; NP EN ISO 4628-2:2005; NP EN ISO 4628-4: 2005; NP EN ISO 4628-5:2005; NP EN ISO 4628-7:2005). No presente estudo, são considerados quatro tipos principais de anomalias que afectam os revestimentos por pintura:

- perda de aderência - estas anomalias surgem geralmente pelo efeito combinado de diferentes anomalias e agentes de degradação; este conjunto de anomalias tem maior incidência em idades avançadas do material; a existência destas anomalias traduz um estado de degradação avançado; no grupo de anomalias de perda de aderência, consideram-se duas situações distintas, (a) o empolamento e (b) o destacamento da pintura; devido à gravidade de cada uma destas anomalias, não se considera empolamentos com graus de severidade inferiores ao nível 2, nem destacamentos com graus de severidade inferiores ao nível 3 (Tabela 1);
- fissuração - a hierarquização por níveis de degradação desta anomalia baseia-se em padrões visuais, em termos de quantidade de fissuração; contrariamente à fissuração que ocorre noutros materiais, as fissuras em revestimentos por pintura têm, geralmente, dimensões inferiores a 1 mm, sendo difícil distinguir a sua dimensão sem uma ampliação adequada; desta forma, não se considera a tipologia das fissuras como condicionante na definição do nível de degradação, dada a complexidade na percepção e na definição da gravidade segundo este parâmetro (Tabela 2);
- manchas e alteração de cor - este tipo de anomalias afecta sobretudo a qualidade visual das fachadas e surge, geralmente, logo nos primeiros anos de vida útil dos revestimentos por pintura (Tabela 3);
- pulverulência - dada a diferença, em termos de durabilidade do revestimento, entre a pulverulência em pequena e moderada escala, opta-se por adoptar uma escala de degradação não linear (Tabela 4), apenas com níveis muito baixos ou inexistentes desta anomalia (níveis 0 e 1) e níveis moderados ou elevados da manifestação de pulverulência (níveis 3 e 4); por último, em situações de degradação avançada, a pulverulência muito pronunciada pode ser responsável pelo desaparecimento total e localizado da película, deixando o reboco à vista; este processo marca o fim da vida útil do revestimento (nível 4).

4. MODELO DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL

Gaspar e de Brito (2008a, b) definiram um índice numérico que exprime a degradação global dos revestimentos de fachada através da razão entre a área degradada ponderada em função da condição e uma área de referência, equivalente à totalidade da fachada com o maior nível de gravidade possível de degradação. Esta metodologia, inicialmente desenvolvida para

os revestimentos de rebocos correntes, estabeleceu um modelo de enquadramento que permitiu a sua posterior adaptação a outros tipos de revestimentos de fachada, como os revestimentos cerâmicos (Bordalo et al., 2011) e os revestimentos pétreos (Silva et al., 2011a, b, c). No presente estudo, este índice numérico, designado de severidade da degradação ($S_{w,p}$), é aplicado ao caso concreto das superfícies pintadas e é obtido tal como indicado na expressão (1).

Tabela 1 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo perda de aderência

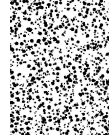
Tabela 1 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo perda de aderência			
Nível 0			
Caracterização da anomalia	Sem degradação detectável visualmente		
Nível 2			
Caracterização da anomalia	Empolamento		
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Pouca quantidade e dimensão até 3 cm		
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]			
Nível 3			
Caracterização da anomalia	Empolamento		
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Pouca quantidade e dimensão entre 3 e 5 cm	Quantidade moderada e dimensão inferior a 3 cm	
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]			
Caracterização da anomalia	Destacamento		
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Pouca quantidade (área descamada até 1%) e dimensão até 3 cm		
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]			
Nível 4			
Caracterização da anomalia	Empolamento		
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Dimensão superior a 5 cm, qualquer que seja a quantidade	Padrão denso de qualquer dimensão	Quantidade moderada e dimensão entre 3 e 5 cm
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]			
Caracterização da anomalia	Destacamento		
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Padrão denso e moderado (área descamada superior a 1%) de qualquer dimensão	Pouca quantidade e dimensão superior a 5 cm	
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]			

Tabela 2 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo fissuração

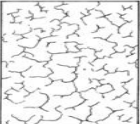
Nível de degradação	Nível 0	Nível 1 Bom	Nível 2 Degradação ligeira	Nível 3 Degradação mediana	Nível 4 Degradação generalizada
Quantidade	Nenhuma ou sem fissuração detectável	Muito pouca ou pouca (número pequeno de fissuras)	Moderada ou número moderado de fissuras	Elevada ou número considerável de fissuras	Muito elevada ou padrão denso de fissuras
Padrão visual de referência [NP EN ISO 4628-4, 2005]					

Tabela 3 - Definição dos níveis de degradação das anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas

Nível 0			
Intensidade das alterações	Inalterada ou alterações não perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Sem degradação detectável visualmente		
Exemplos			
Descrição	Alterações não perceptíveis		
Nível 1			
Intensidade das alterações	Ligeira ou alterações pouco perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Sujidade uniforme; Alteração de cor		
Exemplos			
Descrição	Sujidade uniforme pouco perceptível	Alteração de cor pouco perceptível	
Nível 2			
Intensidade das alterações	Moderada ou alterações bastante perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Sujidade uniforme; Alterações de cor e brilho		
Exemplos			
Descrição	Sujidade uniforme bastante perceptível	Alterações de cor e brilho bastante perceptíveis	
Intensidade das alterações	Ligeira ou alterações pouco perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Sujidade localizada; Manchas de humidade; Eflorescências		
Exemplos			
Descrição	Manchas de humidade ligeiras		
Nível 3			
Intensidade das alterações	Moderada ou alterações bastante perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Manchas de humidade; Eflorescências; Manchas de origem biológica; Sujidade localizada		
Exemplos			
Descrição	Manchas de humidade bastante perceptíveis	Manchas de origem biológica bastante perceptíveis	
Exemplos			
Descrição	Sujidade localizada bastante perceptível	Eflorescências bastante perceptíveis	
Intensidade das alterações	Elevada ou alterações pronunciadas		
Caracterização das anomalias	Sujidade uniforme localizada; Alterações de cor e brilho		
Exemplos			
Descrição	Sujidade uniforme e alterações de cor pronunciadas	Sujidade localizada pronunciada	Alterações de cor (descolorações) pronunciadas
Nível 4			
Intensidade das alterações	Elevada ou alterações pronunciadas		
Caracterização das anomalias	Manchas de origem biológica		
Exemplos			
Descrição	Manchas de origem biológica pronunciadas		

Tabela 4 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo pulverulência

Nível de degradação	Quantidade
Nível 0	Nenhuma ou pulverulência não perceptível
Nível 1 - Bom	Pouca ou pulverulência claramente perceptível
Nível 3 - Degradação moderada	Moderada ou pulverulência bastante perceptível
Nível 4 - Degradação generalizada	Elevada ou pulverulência muito pronunciada

$$S_{w,p} = \frac{\sum (A_n \times k_n \times k_{a,n})}{A \times k} \quad (1)$$

Onde: $S_{w,p}$ - severidade da degradação do revestimento, expressa em percentagem; k_n - factor multiplicativo das anomalias n , em função do seu nível de degradação, tomando os valores pertencentes ao intervalo $K = \{0, 1, 2, 3, 4\}$; $k_{a,n}$ - coeficiente de ponderação correspondente ao peso relativo da anomalia detectada ($k_{a,n} \in R^+$); $k_{a,n} = 1$ em caso da inexistência de qualquer especificação; A_n - área do revestimento afectada por uma anomalia n , em m^2 ; A - área da fachada, em m^2 ; k - factor multiplicativo correspondente ao nível de condição mais elevada da degradação de um revestimento de área A .

4.1 Ponderação relativa entre anomalias

É intuitivo que nem todas as anomalias presentes nas superfícies pintadas possuem a mesma importância relativa, sobretudo quando se comparam as consequências em termos de perda de desempenho decorrente de manchas / alterações cromáticas e de destacamentos. Foram analisados diferentes cenários com o intuito de testar diferentes pesos relativos entre grupos de anomalias, sendo analisados os resultados obtidos no que se refere à sua capacidade para traduzir a realidade física registada. No presente trabalho, opta-se por não incluir todos os cenários testados, mas apenas apresentar aquele que, numa análise global, permite alcançar melhores resultados (Tabela 5). Comparando este cenário com a situação de referência, correspondente a assumir que as diferentes anomalias possuem todas a mesma gravidade ($k_{a,n} = 1$), obtiveram-se as seguintes conclusões principais: i) a distribuição da degradação sem ponderação apresenta uma maior dispersão de pontos face à distribuição com ponderação entre anomalias; ii) os valores da severidade de degradação sem ponderação são geralmente mais elevados do que os valores da severidade com ponderação, confirmando a forma pessimista como o modelo sem ponderação traduz a realidade física; iii) analisando os casos de estudo até aos 5 anos de idade, verifica-se a forte predominância de anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas com alguma expressão em termos de áreas afectadas, mas com consequências ligeiras do ponto de vista da perda da capacidade de protecção das paredes por parte das pinturas; iv) contrariamente aos valores da severidade sem ponderação, os valores da severidade com ponderação encontram-se compreendidos entre 0 e 100%, sendo, assim, de fácil interpretação no âmbito do estudo da durabilidade de fachadas.

Tabela 5 - Ponderação relativa entre anomalias

Tipo de anomalia	Manchas e alterações cromáticas	Fissuração	Pulverulência	Perda de aderência
Ponderação relativa ($k_{a,n}$)	0,25	1,00	1,00	1,50

4.2 Evolução da degradação das superfícies pintadas

Conhecida a nuvem de pontos que traduz numericamente os resultados obtidos em campo, é possível determinar a curva de regressão do elemento estudado através de técnicas estatísticas para obter a curva de degradação da amostra, tal como se ilustra na Figura 1, apresentando curvas de regressão linear e polinomial. As curvas de regressão assim obtidas representam uma linha de degradação média da amostra. A análise do quadrado do coeficiente de determinação (R^2), que avalia a proporção da variância dos valores de y (severidade) em relação a x (idade da pintura) revela que ambas as curvas de regressão (linear e polinomial de segundo grau) apresentam valores de R^2 relativamente elevados (R^2 de 0,74 e 0,89, respectivamente), sendo que a curva polinomial é a que melhor corresponde ao padrão de degradação da amostra estudada. Neste caso, a variabilidade da degradação (variável dependente) é explicada em 89% pelo modelo, ou seja, 89% da variabilidade de y (degradação) é explicada por x (idade da pintura) e 11% deve-se a outros factores. Relativamente à configuração obtida para a curva polinomial, esta revela um desenvolvimento convexo, expressando uma tendência dos revestimentos por pintura de padecerem de anomalias de desenvolvimento lento, mas cujos efeitos se fazem sentir cumulativamente. De facto, como se constata na Figura 1, até aos 5 anos, a velocidade de deterioração é baixa, seguida de uma tendência de aceleração do potencial de degradação.

Estabelecido o nível mínimo de desempenho aceitável como correspondente a 20% de degradação global do material (valor que pode variar consoante o nível de exigência dos proprietários ou utentes), a vida útil de referência das superfícies pintadas pode ser obtida de duas formas distintas: (a) graficamente, através da intersecção da curva de degradação e da linha horizontal, correspondente ao nível mínimo de desempenho, ou (b) numericamente, resolvendo a equação da curva de regressão em ordem a x para $y = 0,20$. Assim sendo, obtém-se uma vida útil de referência para revestimentos por pintura de 9,75 anos, isto é, cerca de 10 anos. Findo este período de referência, a fachada deverá ser alvo de uma manutenção geral (repintura) de forma a restabelecer o desempenho acima dos níveis mínimos de referência.

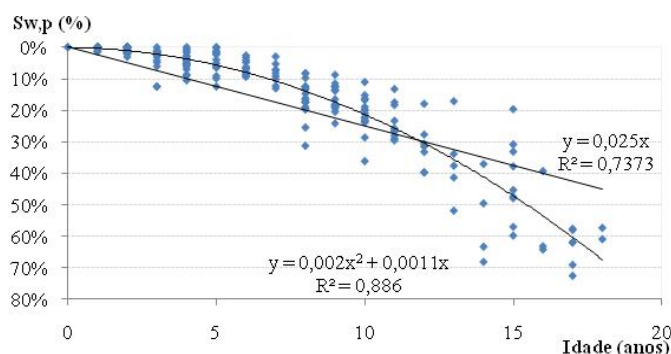


Figura 1 - Curvas de degradação (linear e polinomial) obtidas a partir dos 220 casos de estudo

4.2.1 Influência das diferentes características das superfícies pintadas

Dos 220 casos de estudo, constata-se que as superfícies pintadas possuem um vasto leque de características que influenciam a sua durabilidade. Os factores analisados podem ser agrupados em três conjuntos distintos: (a) os factores relativos à qualidade dos materiais aplicados (cor e textura); (b) os factores relativos ao nível de execução (preparação da superfície); e, (c) os factores relacionados com as condições de exposição ambiental (humidade, proximidade do mar, proximidade de fontes poluentes, acção vento - chuva, orientação solar). Assim sendo, agrupando a amostra de acordo com estas diferentes variáveis, obtêm-se curvas de regressão independentes, permitindo obter modelos de degradação associados a cada factor de durabilidade.

O estudo da cor foi baseado na literatura especializada que sugere a influência deste factor na durabilidade de fachadas pintadas. Desta forma, foram consideradas quatro categorias em função do coeficiente de absorção solar: (a) branco (coeficiente entre 0,2 e 0,3); (b) amarelo, cor-de-laranja e cor-de-rosa claros (coeficiente entre 0,3 e 0,5); (c) cor-de-rosa escuro, verde-claro e azul-claro (coeficiente entre 0,5 e 0,7); e (d) castanho, verde-escuro e azul-escuro (coeficiente entre 0,7 e 0,9). Devido ao reduzido número de revestimentos (10 casos) pertencentes à quarta classe de cores, esta não foi apresentada nas curvas de degradação. Como se observa nas curvas de regressão, apresentadas na Figura 2, os resultados obtidos são inconclusivos visto que estas se cruzam e sobrepõem, na grande maioria da sua extensão. As curvas de degradação obtidas em função da textura das superfícies pintadas encontram-se na Figura 3, onde se destaca o melhor desempenho das tintas texturadas. De entre as tintas lisas analisadas, incluem-se as tintas lisas não tradicionais (com resinas de nanocompósitos e pliolite), as tintas lisas tradicionais (de base aquosa), as membranas elásticas, as tintas de silicone e as tintas de silicatos. Por sua vez, as tintas texturadas são tintas aquosas que originam um acabamento rugoso; este tipo de acabamento é obtido com recurso a areias na formulação das tintas (estas areias são compostas essencialmente por sílica, cargas de elevada resistência). Os modelos apresentados apresentam elevados coeficientes de determinação ($R^2 = 0,92$ para as tintas de acabamento rugoso e $R^2 = 0,87$ para as tintas de acabamento liso), traduzindo a sua capacidade em explicar a realidade observada. A distribuição homogénea da amostra em função deste parâmetro também aumenta a fiabilidade dos resultados, consistentes e concordantes com a percepção geralmente aceite no meio técnico, relativamente à maior durabilidade das tintas texturadas.

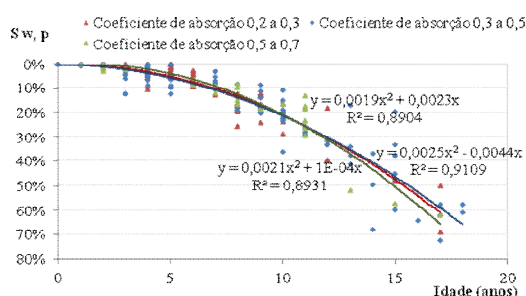


Figura 2 - Curvas de degradação em função da cor do revestimento

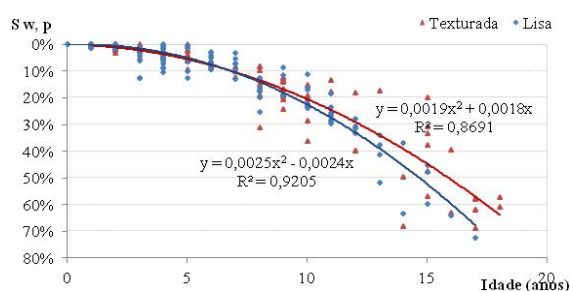


Figura 3 - Curvas de degradação em função da textura do revestimento

Na Figura 4, analisa-se a influência da preparação da superfície, sendo este um subfactor relacionado com o nível de execução. Consideraram-se duas categorias, nomeadamente (a) repintura sobre uma pintura já existente e (b) pintura directamente sobre o reboco. Devida à falta de informação encontrada no estudo referente à preparação da superfície, foram apenas consideradas 46 fachadas. Desta forma, pelo reduzido número de casos, a validade estatística dos resultados obtidos deve ser encarada com alguma precaução. As curvas obtidas apresentam coeficientes de determinação razoáveis ($R^2 = 0,85$ para repintura sobre uma pintura já existente e $R^2 = 0,70$ para pintura directamente sobre o reboco) e são praticamente sobrepostas, embora com um desempenho ligeiramente superior nos casos em que a pintura é aplicada directamente sobre o reboco. Este resultado está de acordo com o esperado pois situações de repintura sobre uma pintura já existente estão associadas a uma maior probabilidade de incompatibilidade de produtos e de piores condições de aderência. Relativamente à exposição à humidade, tal como seria de esperar, os revestimentos sujeitos a uma exposição à humidade desfavorável apresentam uma deterioração mais rápida do que os revestimentos sujeitos a uma exposição corrente (Figura 5). Considerando um limite de aceitação mínimo correspondente a um nível de degradação de 20%, é possível associar uma vida útil superior aos revestimentos sujeitos a humidade corrente, sendo a diferença encontrada de 0,75 anos (aproximadamente 9 meses).

O efeito da proximidade do mar na durabilidade estimada de fachadas é apresentado na Figura 6, tendo sido propostas três categorias: (a) revestimentos localizados a menos de 1 km do mar, (b) revestimentos localizados a entre 1 e 5 km do mar e (c) revestimentos localizados a mais de 5 km do mar. Nesta figura, verifica-se uma ligeira distinção entre as três categorias consideradas, sendo de realçar a forte correlação existente ($R^2 = 0,94$) para os casos situados entre 1 e 5 km. De acordo com a literatura existente sobre o tema (Cole et al., 1999), poder-se-ia esperar uma maior diferença entre as diferentes categorias. No entanto, considerando apenas os casos extremos (fachadas a menos de 1 km e a mais de 5 km), a distinção é maior. Os revestimentos analisados, sujeitos a condições mais desfavoráveis, têm uma vida útil de menos 0,63 anos (7,2 meses) do que as fachadas situadas a mais de 5 km da linha da costa. Analisando os revestimentos que já atingiram o fim da vida útil, a diferença é superior a 1 ano (10% da vida útil estimada). Relativamente aos edifícios situados em Lisboa, distinguiram-se ainda as situações de proximidade do rio das restantes, para verificar se existe influência deste parâmetro. A Figura 7 apresenta os resultados obtidos, onde se verifica existir uma influência deste subfactor, embora não muito significativa nos casos estudados. De acordo com o expectável, a degradação é mais rápida em situações a menos de 1 km do rio.

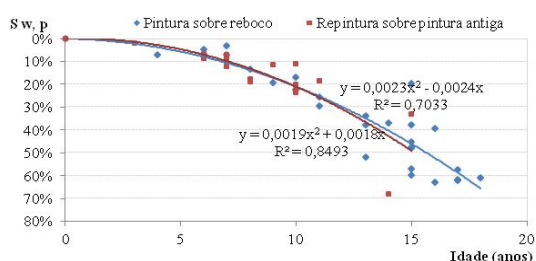


Figura 4 - Curvas de degradação em função da preparação da superfície

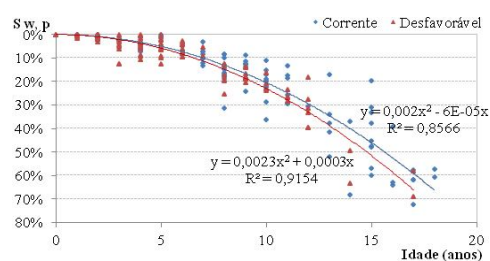


Figura 5 - Curvas de degradação em função da exposição à humidade

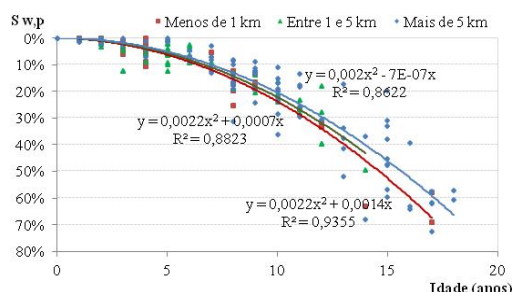


Figura 6 - Curvas de degradação em função da proximidade do mar

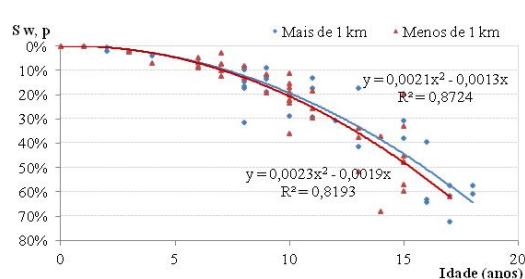


Figura 7 - Curvas de degradação em função da proximidade do rio

A modelação da durabilidade em função da proximidade de fontes poluentes é apresentada na Figura 8. Como se pode observar, os resultados obtidos são, ao contrário do que intuitivamente faz sentido, menos favoráveis para fachadas denominadas por exposição corrente, correspondentes a edifícios em meio urbano com tráfego reduzido a moderado. Provavelmente, tal prende-se com o facto de todos os casos com exposição desfavorável, se situarem no concelho de Lisboa, a mais de 5 km do mar e com exposição à humidade corrente. Desta forma, apesar de apresentarem exposição mais desfavorável no que se refere à poluição, apresentam melhores condições no que toca à proximidade do mar e à humidade. Embora não comprovada de forma inequívoca, parece assim existir uma preponderância dos subfactores “humidade” e “proximidade do mar” relativamente ao critério “proximidade de fontes poluentes”. Admitindo que a proximidade de fontes de poluentes tem influência na degradação, esta hipótese pode explicar as ligeiras distinções obtidas nas curvas anteriores (Figuras 5 e 6), pois dentro dos casos mais favoráveis no que se refere à humidade e à proximidade do mar estão

englobados os edifícios com exposição à poluição desfavorável, afectando negativamente o desempenho (degradação mais rápida) e ficando a respectiva curva de degradação mais próxima dos casos referentes a “humidade” e a “proximidade de mar” desfavoráveis.

Relativamente à acção combinada do vento e da chuva, existem três níveis de degradação, correspondentes às situações de exposição ligeira, moderada e severa, com índices relativamente elevados de correlação (R^2 de 0,80, 0,94 e 0,86, respectivamente), tal como se ilustra na Figura 9. Os dados obtidos parecem, assim, traduzir a realidade expectável, sendo a degradação rápida para revestimentos sujeitos a uma acção vento - chuva severa, seguidos dos casos expostos a uma acção moderada e, por fim, os edifícios mais baixos, em contexto urbano denso, sujeitos a uma acção ligeira, sendo esta última a curva mais afastada dos restantes modelos. Comparando a vida útil obtida dos dois casos extremos (acção ligeira e severa), encontram-se diferenças da ordem de 0,7 anos, correspondentes a uma variação de 7% da vida útil estimada. Nos casos em que os revestimentos já atingiram o limite de desempenho, a distinção acentua-se, sendo que os revestimentos sujeitos à acção severa atingem uma degradação de 60% cerca de 2,5 anos antes dos revestimentos expostos a uma acção ligeira, dando ideia de que esta diferença se acentua quanto maior for a degradação.

No que respeita à orientação solar, os casos de estudo foram divididos pelos quatro quadrantes principais, sendo os respectivos modelos apresentados na Figura 10. Gaspar (2009) refere que, em Portugal, os quadrantes mais agressivos são geralmente o Norte, devido à combinação de maior humidade e menores períodos de insolação, e o Poente, devido à forte insolação e temperaturas que podem afectar a parede. Os dados obtidos traduzem parcialmente este padrão. De facto, verifica-se na amostra analisada, de uma forma geral, que existe maior incidência de fissuração, destacamentos, alterações de cor e brilho e pulverulência em fachadas expostas a Sul e Poente e de manchas de origem biológica, em fachadas expostas a Norte. De acordo com a Figura 10, o potencial de degradação para os revestimentos por pintura classifica-se, por ordem crescente, em Norte, Este, Oeste e Sul, existindo quase uma sobreposição entre as duas últimas curvas de regressão. No que se refere à vida útil dos revestimentos em função da orientação, encontram-se diferenças superiores a 1 ano entre fachadas expostas a Sul e a Norte. Os quadrantes Poente e Nascente correspondem a situações intermédias.

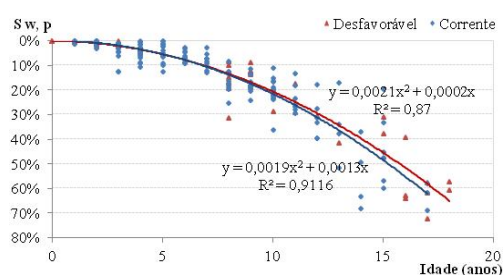


Figura 8 - Curvas de degradação em função da proximidade de fontes poluentes

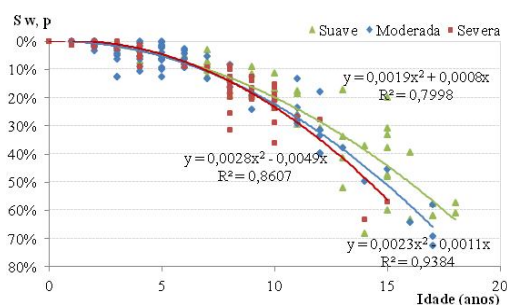


Figura 9 - Curvas de degradação em função da acção vento - chuva

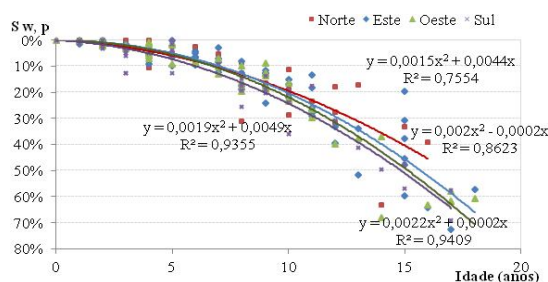


Figura 10 - Curvas de degradação em função da orientação solar

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Por aplicação do modelo, obteve-se um valor de 9,75 anos, ou seja cerca de 10 anos, para a vida útil média de revestimentos de pintura, com uma elevada significância estatística ($R^2=0,886$). Em algumas situações, não foi possível estimar uma vida útil, nomeadamente quando as curvas se sobrepõem, ficando alternadamente umas por cima das outras ou quando os resultados não correspondem ao que seria expectável (por exemplo, revestimentos com exposição a fontes poluentes com melhor desempenho do que os que apresentam exposição favorável). Através da análise comparativa das curvas obtidas, conclui-se que: i) as tintas com acabamento rugoso apresentam um desempenho ligeiramente melhor do que o das tintas lisas, provocando estas um decréscimo de 3,6% na vida útil dos revestimentos; ii) as anomalias que ocorrem em revestimentos de pintura correspondem maioritariamente a problemas de manchas no quadrante Norte e de perda de brilho, fissuração e pulverulência, nos quadrantes Sul e Poente, sendo estes os mais significativos na zona de estudo, caracterizada por um clima temperado quente, com Verões quentes e secos; iii) relativamente à preparação da superfície, apesar de poder ser discutível a sua validade estatística devido ao reduzido número de casos de estudo, as curvas obtidas revelaram um melhor desempenho das tintas aplicadas directamente sobre o reboco; iv) quanto à proximidade do mar, verifica-se que as fachadas situadas a menos de 1 km do mar correspondem à situação mais gravosa, correspondendo a uma diminuição da vida útil estimada de 5,6%, seguidas das situações cuja localização do revestimento está entre 1 e 5 km, correspondendo a diminuições da vida útil estimada de 3,6%; por sua vez, os revestimentos situados a mais de 5 km apresentam um aumento da vida útil estimada em relação à vida útil de referência de 2,6%; v) no que respeita à exposição à acção vento - chuva, constata-se que a exposição suave corresponde à situação mais favorável (com um aumento da vida útil estimada de 3,6%); a situação mais desfavorável corresponde a exposição à acção vento - chuva severa, correspondendo a diminuições da vida útil estimada de 3,6%.

6. CONCLUSÃO

O modelo proposto para a estimativa de vida útil de pinturas assenta numa metodologia que se baseia no levantamento visual de anomalias, a quantificação destas e a transposição dos resultados assim obtidos para um modelo determinístico. Este método, cuja aplicação é de relativa simplicidade, equilibra baixo custo e rapidez, tornando viável a sua aplicação prática no âmbito da construção. O método gráfico revelou-se constituir um sistema rigoroso no âmbito da previsão de vida útil de pinturas de fachadas, tendo permitido determinar curvas médias de degradação e vidas úteis de referência e estimadas em função das variáveis condicionantes.

Por aplicação do modelo, obteve-se um valor de cerca de 10 anos para a vida útil média de revestimentos de pintura, com uma elevada significância estatística ($R^2=0,886$). Verifica-se ainda que os principais factores que influenciam a durabilidade das pinturas são: a textura da película, a proximidade do mar, a acção conjunta do vento e da chuva e a orientação da fachada. Para os períodos de referência da vida útil das pinturas, em muitos casos são relativamente reduzidas as diferenças causadas por distintos factores de durabilidade. No entanto, estas diferenças tendem a acentuar-se com o passar do tempo.

Não sendo âmbito do presente estudo, poder-se-ia analisar a interligação entre os diferentes factores que condicionam a degradação das superfícies pintadas. Em estudos futuros, com recurso a algumas ferramentas estatísticas, será possível compreender as relações causais entre variáveis e a forma como estas contribuem para explicar a degradação deste tipo de revestimentos. Este estudo constitui assim uma primeira abordagem à previsão da vida útil dos reves-

timentos exteriores por pintura, fornecendo a indicação de como os diferentes factores analisados contribuem para o acréscimo ou redução do período de vida útil deste tipo de revestimento.

REFERÊNCIAS

Bordalo, R., de Brito, J., Gaspar, P. e Silva, A., Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems. *Building Research and Information*, **39(1)**, 66-78 (2011).

Cole, I.S., King, G.A., Trinidad, G.S., Chan, W.Y. e Paterson, D.A., An Australia-wide map of corrosivity: a GIS approach. 8th DBMC, Conference on Durability of Building Materials and Components; Ottawa, Canada, 1999, pp.901-911.

Gaspar, P.L. e de Brito, J., Service life estimation of cement-rendered façades. *Building Research and Information*, **36(1)**, 44-55 (2008a).

Gaspar, P.L. e de Brito, J., Quantifying environment effects on cement-rendered façades: a comparison between different degradation indicators. *Building and Environment*, **43(11)**, 1818-1828 (2008b).

Gaspar, P., Vida útil das construções: Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes. Tese de Doutoramento em Ciências de Engenharia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

Lacasse, M.A. e Sjostrom, C., Recent advances in methods for service life prediction of buildings materials and components - an overview. CIB World Building Congress, Toronto, Canada, 2004, pp. 1-10.

Lanzinha, J., Freitas, V. e Gomes, J., Exploração de metodologia de diagnóstico exigencial de apoio à reabilitação de edifícios de habitação. PATORREB 2006 - 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Portugal, 2006, pp. 589-596.

Moser, K., Engineering design methods for service life planning - state of the art. International Workshop on Management of Durability in the Building Process, 2003, Politecnico di Milano, Milan, Italy, paper 40.

Instituto Nacional de Estatística (INE), Estatísticas nacionais - censo 2001 <<http://www.ine.pt/proderv/quadro/mostraquadro.asp>> [consultado a 01/02/2012].

NP EN ISO 4628-1, Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 1: Introdução geral e sistema de designação, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal, 2005, 8 p.

NP EN ISO 4628-2, Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 2: Avaliação do grau de empolamento, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal, 2005, 16 p.

NP EN ISO 4628-4, Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 4: Avaliação do grau de fissuração, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal, 2005, 20 p.

NP EN ISO 4628-5, Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 5: Avaliação do grau de descamação, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal, 2005, 11 p.

NP EN ISO 4628-7, Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 7: Avaliação do grau de pulverulência pelo método do tecido aveludado,

Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal, 2005, 8 p.

Shohet, I. e Paciuk, M., Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions. *Construction Management and Economics*, **22(10)**, 1081-1090 (2004).

Silva, A., de Brito, J. e Gaspar, P., Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the substrate). *Construction and Building Materials*, **25(9)**, 3674-3684 (2011a).

Silva, A., de Brito, J. e Gaspar, P., Application of the Factor Method to maintenance decision support for stone cladding. *Automation in Construction*, Article in Press, doi:10.1016/j.autcon.2011.06.014, 2011 (2011b).

Silva, A., Dias, J.L.R., Gaspar, P.L. e de Brito, J., Service life prediction models for exterior stone cladding. *Building Research and Information*, **39(6)**, 637-653 (2011c).

Watt, D.S., Building Pathology - Principles & Practice. 1st Edition, Blackwell Science Ltd., Blackwell Publishing Company, London, UK, 1999.